



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEFNE ATIKLARINDAN BİYOPELET YAKITI ÜRETİMİ VE
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Büşra SEZER

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
ARALIK-2022**



T.C.

HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEFNE ATIKLARINDAN BİYOPELET YAKITI ÜRETİMİ VE
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Büşra SEZER

ORCID:0000-0002-6491-1087

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. Cengiz KARACA

ORCID:0000-0001-5161-1512

**HATAY
ARALIK-2022**

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İmza

Büşra NİZAMOĞLU SEZER

ÖZET

DEFNE ATIKLARINDAN BİYOPELET YAKITI ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hatay ilinde yaygın bir üretim alanı bulunan defne yaprağı işleme tesislerinde meydana gelen defne yaprağı ve dal atıklarından biyoyakıt üretimi amacıyla farklı karışım oranlarında hazırlanan dal ve yapraklardan pelet üretilmiştir. Pelet yapılacak karışımlar yaprak oranını (%25, %50, %75, %100) ifade edecek şekilde Y25, Y50, Y75 ve Y100 şeklinde isimlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan defne yaprağı ve dallarından oluşan karışımların peletleme öncesi nem ve yığın yoğunlukları ile peletleme sonrasında elde edilen peletlerin nem içeriği, kül içeriği, ısı değeri, yığın yoğunluğu, karakteristik boyutları, mekanik dayanıklılık, elementel analiz ve baca gazı analizleri gibi özellikleri ilgili standartlar kullanılarak belirlenmiştir. Hazırlanan bu karışımların ve bunlardan üretilen peletlerin bazı fiziksel, kimyasal ve ısı özelliklerinin belirlenmesi için yapılan analizler ve ölçümlerin sonuçları verilerek değerlendirilmiştir. Peletlerin belirlenen bu özellikleri Avrupa Birliği Pelet Konseyi tarafından oluşturulan ve EN 14961-2 standardına göre hazırlanan pelet kalite sınıflarının ilgili özellik sınır değerleri ile kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda defne karışım peletlerin nem içeriği, karakteristik boyutlar, ve ısı değerleri bakımından bu standartlara uygun olduğu görülmüştür. Fakat yığın yoğunluğu, mekanik dayanıklılık ve kül içeriği özelliklerinin ilgili standartta belirtilen sınır değerlerin dışında olduğu belirlenmiştir. Üretilen defne karışım peletlerinin baca gazı emisyon değerlerine göre ısı gücü 150 kW'a kadar olan tesislerde yakıt olarak kullanılabilmesi çevresel açıdan uygun olduğu görülmüştür. Defne karışım peletlerindeki çalışmada belirlenen özelliklerinde ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen sınır değerlere göre gerekli düzeltmeler yapılarak biyoyakıt olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

2022, 45 sayfa

Anahtar Kelimeler: Pelet, defne atıkları, biyoyakıt

ABSTRACT

PRODUCTION OF BIOPELLET FUEL FROM LAUREL RESIDUES AND DETERMINATION OF ITS PROPERTIES

Pellets were produced from laurel leaf and branch wastes, which were prepared in different mixing ratios, for biofuel production from the laurel leaf and bough wastes in the laurel leaf processing facilities in the province of Hatay. Mixtures to be made into pellets were named as Y25, Y50, Y75 and Y100 to express the leaf ratio (25%, 50%, 75%, 100%). The moisture and bulk densities of the mixtures used in the study, consisting of laurel leaves and boughs, and the moisture content of the pellets obtained after pelleting, ash content, calorific value, bulk density, characteristic dimensions, mechanical durability, elemental analysis and flue gas analysis were determined using the relevant standards. The results of the analyzes and measurements made to determine some physical, chemical and thermal properties of these prepared mixtures and the pellets produced from them were evaluated. These determined properties of the pellets were compared with the relevant property limit values of the pellet quality classes prepared by the European Union Pellet Council and prepared according to the EN 14961-2 standard. As a result of these comparisons, it has been seen that the pellets comply with these standards in terms of moisture content, characteristic dimensions and thermal values. However, it was determined that the bulk density, mechanical strength and ash content properties were outside the limit values specified in the relevant standard. According to the flue gas emission values of the pellets produced, it has been found that it can be used as fuel in plants with a thermal power up to 150 kW and is environmentally suitable. It has been seen that the properties determined in the study of the laurel pellets can be used as biofuel by making the necessary corrections according to the limit values specified in the relevant national and international standards.

2022, 45 pages

Key Words: Pellet, laurel residues, biofuel

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşturulmasında ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Cengiz KARACA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bitkisel materyalin temin edilmesinde ve peletlerin üretilmesinde katkı sağlayan değerli iş insanı Ayşegül ABACI'ya teşekkür ederim.

Desteğini ve bilgi birikimini esirgemeyen arkadaşım, Süleyman GEZGİN'e, hayatım boyunca beni en iyi şekilde yetiştiren, her anlamda destek olup hedeflerimden geri bırakmayan, hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen babam Mevlüt NİZAMOĞLU, annem Nejla NİZAMOĞLU ve kardeşim Sercan NİZAMOĞLU'na, hayatımın her alanında benim yanımda olan, destekleyen ve her zaman varlığını hissettiren hayat arkadaşım Muhammet Mustafa SEZER'e teşekkür ederim.

Tez çalışmaları sırasında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan HMKÜ Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, maddi destek veren HMKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (Proje No: 20.YL.017) ve isimlerini burada zikredemediğim yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
KISALTMALAR DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Biyopelet Yakıtı	1
1.1.1. Pelet Yakıtının Özellikleri ve Avantajları	4
1.1.2. Ekonomik Açıdan Pelet.....	5
1.1.3. Peletleme Teknolojisi	6
1.2. Defne Bitkisi ve Kullanımı	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
3. MATERYAL YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal	18
3.2. Yöntem.....	18
3.2.1. Peletleme İşlemi	18
3.2.2. Nem İçeriği.....	22
3.2.3. Yığın Yoğunluğu.....	23
3.2.4. Pelet Karakteristik Boyutları	24
3.2.5. Mekanik Dayanıklılık.....	24
3.2.6. Üst Isıl Değer	25
3.2.7. Kül İçeriği	26
3.2.8. Elementel Analiz	27
3.2.9. Baca Gazı Emisyonu	27
3.2.10. İstatistiksel Analiz.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Nem İçeriği	29
4.2. Yığın Yoğunluğu	30
4.3. Pelet Karakteristik Boyutları	30
4.4. Mekanik Dayanıklılık	31
4.5. Üst Isıl Değer	32
4.6. Kül İçeriği	33
4.7. Elementel Analiz.....	34
4.8. Baca Gazı Emisyonu Değerleri.....	35
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Biyokütle enerji döngüsü	1
Şekil 1.2. Pelet çeşitleri	2
Şekil 1.3. Odun peleti	3
Şekil 1.4. Pelet sobası	3
Şekil 1.5. Peletleme teknolojisi ve pelet makinaları	6
Şekil 1.6. Biyokütle peletleme üretimi işlem akışı	7
Şekil 1.7. Defne yaprağı.....	8
Şekil 1.8. Defne bitkisi.....	9
Şekil 1.9. Defnenin Türkiye’de yayıldığı alanlar.....	9
Şekil 1.10. Defne yaprağı üretim miktarı.....	10
Şekil 3.1. Defne dalı ve yaprağının öğütülmemiş ve öğütülmüş hali	18
Şekil 3.2. Defne yaprak ve dal karışımının peletleme makinesine iletilmesi	19
Şekil 3.3. Pelet makinesi görünümü.....	20
Şekil 3.4. Pelet eleme ve soğutma bölümü	21
Şekil 3.5. Karışım peletleri.....	21
Şekil 3.6. Pelet örneklerinin öğütme cihazında öğütülmesi.....	22
Şekil 3.7. Karışımların nem içeriğinin belirlenmesi	23
Şekil 3.8. Ham materyal ve peletlerin yığın yoğunluğu ölçümü	24
Şekil 3.9. Pelet çap ve uzunluk ölçüm ve sınıflandırma	24
Şekil 3.10. Pelet mekanik dayanıklılık test cihazı.....	25
Şekil 3.11. Kalorimetre ve oksijen dolun cihazı	26
Şekil 3.12. Elementel analiz cihazı	27
Şekil 3.13. Pelet yakma sobası ve baca gazı ölçüm cihazı.....	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Defne yaprağının ihracatı.....	10
Çizelge 3.1. Deneme materyallerindeki yaprak ve dal oranları	19
Çizelge 4.1. Defne karışımlarının nem içeriği	29
Çizelge 4.2. Defne karışımlarının yığın yoğunluğu	30
Çizelge 4.3. Defne karışım peletlerin karakteristik boyutları	31
Çizelge 4.4. Defne karışım peletlerin mekanik dayanıklılık oranları	32
Çizelge 4.5. Defne karışım peletlerin üst ısıl değerleri	32
Çizelge 4.6. Bazı tarımsal artık ve atıkların üst ısıl değerleri	33
Çizelge 4.7. Defne karışım peletlerin kül içeriği değerleri	33
Çizelge 4.8. Defne karışım peletlerinin elementel analiz değerleri	34
Çizelge 4.9. Defne karışım peletlerinin baca gazı emisyon değerleri.....	35



KISALTMALAR DİZİNİ

- MC_{wb} : Materyal nem içeriği
 m : Materyal kütlesi
 ρ : Materyal yoğunluğu
 V : Materyal hacm
 DU : Mekanik dayanıklılık direnci (durabilty)
 AC : Kül içeriği (ash content)



1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, bir kaynağa bağlı olmayan, başka bir ifadeyle sürdürülebilir olan enerjidir, ayrıca sürekli kullanılabilen bir enerji türüdür. Bu enerji türlerinin elde edildiği kaynaklara ise yenilenebilir enerji kaynağı denir.

Yenilenebilir enerjiler, doğal süreçlerden üretilen, devamlı tekrarlanabilen enerjilerdir. Bu enerji kaynakları arasında; güneş, rüzgâr, jeotermal ısı, dalga-gelgit, hidrolik ve çeşitli biyokütle kaynakları yer almaktadır. Bu kaynaklar tüketilemeyen ve sürekliliği olan enerjilerdir. Özet olarak, yenilenebilir enerjiler; doğal kaynakların kullanımıyla üretilen ve tekrarlanıp tükenmeyen enerji kaynağı biçimidirler (Dok ve ark., 2018).

1.1. Biyopellet Yakıtı

Biyokütlenin enerji dönüşümünde, biyokütle ham materyali bazı işlemlerden geçirilerek katı, sıvı ve gaz formunda yakıtlara dönüştürülür. Elde edilen ikincil bu yakıtlar ile de kullanılabilir son enerji üretimi sağlanır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Biyokütle enerji döngüsü (Leblebicioğlu, 2020)

Atıkların yenilenebilir enerji kaynağı ve çevre kirliliğini önleme açısından önemli bir yeri vardır. Çevre kirliliği, yapay yollarla doğal yaşam alanlarının bozulmasına ve bu bozulmalar neticesinde canlılık faaliyetlerinin olumsuz yönde etkilenmesi olarak tanımlanabilmektedir. Bu anlamda atıkların doğru ve etkin kullanımı tam bir çözüm

olmaktadır. Dünyadaki en önemli dördüncü yenilenebilir enerji kaynağı biyokütledir. Biyoenerji, geleceğin temel yenilenebilir enerji kaynağı olarak birçok gelişmiş ülke tarafından kabul görmektedir. Isınmada ve sanayide yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle, yakma sistemlerinde kullanılmaktadır. Pelet ise ısınma amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılan kaynaklardan birisidir (Karayılmazlar ve ark., 2011).

Pelet çeşitleri göz önünde bulundurulduğunda, genel özellikleri arasında 6-10 mm çapında, 10-50 mm uzunluğunda sıkıştırılmış; talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, fındık, badem, ceviz kabukları gibi doğal ürünlerden ve atıklardan elde edilen bir yakıt olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1.2). Yüksek yanma verimliliği olduğundan pelet önemli bir yakıt tipidir. Bu özelliği düşük rutubete ve preslenebilme özelliği sayesinde çok yoğun olması sayesinde kazanmıştır. Pelet hammaddeleri arasında odun peletleri diğer hammaddelere göre yaklaşık 5 ila 10 kat civarında daha fazla verimlilik sağladığı gözlemlenmiştir (Alparslan, S. ve Ertekin, C., 2018).



Şekil 1.2. Pelet çeşitleri (Anonim, 2022)

Peletler farklı doğal ürün ve atıklardan (talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, ağaç dalları, ekinlerin sapları, fındık, zeytin, çay, karanfil, ağaç diplerindeki kozalaklar vd.) sıkıştırılarak elde edilen bir biyoyakıt çeşididir.

Ham madde ve üretim teknikleri bakımından farklılık gösterirken, odun ve türevi maddelerin pelet hâline dönüştürülmesinde bağlayıcı madde kullanımı olmamaktadır. Melas, nişasta, bitkisel parafin, tall yağı, lignin, su gibi bazı hammaddelerde ise belirli oranlarda bağlayıcılar kullanılmaktadır (Sezek, 2018).

Yine ham madde olarak ağaç (sert ve yumuşak ağaçlar), odun, yonga, talaş, kabuk, dal, yaprak ve benzeri orman artıkları, sap-saman (buğday, arpa, çavdar, yulaf gibi), sap (ayçiçeği, mısır, pamuk, kolza gibi), kabuk-kılıf (kahve, soya, pirinç, yer fıstığı, fındık, ceviz vb.), meyve çekirdekleri, kâğıt, mukavva vb. artığı ve çöprü, endüstriyel atıklar (prina gibi), inşaat atıkları kullanılabilmekte bu ürünlerin haricinde enerji ormancılığı kapsamında yetiştirilen birçok üründe kullanılmaktadır. Pelet yapımına bir tek ürün katılabileceği gibi birden fazla ürün de (talaş, sap, saman, prina, kömür tozu gibi) karıştırılabilmektedir (Küsek, ve ark., 2015).



Şekil 1.3. Odun peleti (Eren ve Öztürk, 2011)

Fındık sobaları, fındık kabuğu kullanılan fırınların sistemleri, pelet sobaları, pelet kazanları yani petek sistemleri genel olarak yakılabildiği yerlerdir. Doğalgaz kadar kontrollü yakılmaktadır.



Şekil 1.4. Pelet sobası (Anonim, 2022)

Peletlemede ilk olarak ağaç atık malzemeleri toplanarak değirmenden geçirilip küçük toz haline getirilmektedir. Bu toz halindeki ağaç atık malzemeleri daha sonra nem oranı düşürülmektedir. Kurutulan malzeme yüksek basınç altında preslenerek peletlenmektedir. Ardından soğutma işlemi presten çıkan ürüne uygulanır ve oradan da kullanıma hazır hale gelmektedir. Aynı ağaç mamulün yanma ve enerji verimi bu işlemler uygulanması sonucunda 3-4 kata kadar artırılabilir.

Peletin yakılabildiği yerler arasında; fındık sobaları, fındık kabuğu kullanılan fırınların sistemleri, pelet sobaları, pelet kazanları bulunmaktadır. Isıtma kapasitesi 8000 ile 9000 BTU arasında değişen pelet sobaları; evlerde, iş yerlerinde, fabrikalarda, otellerde, pansiyonlarda, sitelerde, apartmanlarda, özel ve müstakil yerleşim birimlerinde, villalarda kısacası; ısı gerektiren tüm alanlarda pelet yakıtları kullanılabilir (Acaroğlu ve Hacıseferoğulları, 2014).

1.1.1. Pelet Yakıtının Özellikleri ve Avantajları

Bitkisel materyalden elde edilen atık malzemeleri değirmenden geçerek toz haline getirilmesi işleminden sonra toz halindeki atık malzemeleri özel fırınlarda kurutularak nem oranının düşürülmesi sağlanır. Kuru madde yüksek basınçta preslenerek pelet halini almaya başlar. Pres makinesinden çıkan pelet soğuma işlemine tabi tutulur oradan da kullanılmak üzere paketleme için hazırlanırlar. Bu uygulamalar sonrası bitkisel atıklar ekonomiye katkı sağlayabilecek şekilde yanma ve enerji verimi yüksek yakıtlar halini alırlar. Elde edilen yakıtın avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Karayılmazlar ve ark., 2011).

- Çevreye duyarlı, düşük derecede baca emisyon gazları salınımı sağlar.
- Yenilenebilir enerji kaynağı olan pelet üretimi, biyokütle enerjisi olarak kullanılır. Bölgesel bitkisel materyalin kullanımıyla arz güvenliği yüksek olan bir kaynak haline gelmiştir.
- Madeni yakıtlara nazaran tüketimi esnasında daha düşük miktarda emisyon gazı ortaya çıkarır. Yüksek basınçta sıkıştırıldığı ve aynı zamanda nemi alındığı için kül oranı %1 seviyelerindedir. 1 ton pelet yakıldığı zaman yaklaşık 10 kg kül açığa çıkmaktadır.

Kömürün kalitesine göre %20-%50 dolaylarında kül-cüruf oluşmaktadır. Pelet yakımı sonrası açığa çıkan küller toplanarak doğal gübre kullanımına katkı sağlayabilmektedir.

- Peletleme işlemi sayesinde ham odun parçasına göre yanma süresi ve sağladığı enerji bakımından daha verimli bir yakıt olarak kullanılabilir. Pelet yakma sistemleri üst düzey (%95) verimde çalışarak yoğunlaşmış kombiler gibi en az yakıt ve en yüksek verimi almayı sağlamaktadır.
- Nakliyesi ve depolanması çok kolaydır.
- Pelet yakıtı kullanımı, diğer enerji sağlayıcılara göre daha ucuz temin edilebilen yenilenebilir yakıttır.
- Kaynak temini eldesi bölgeye spesifik olabileceğinden yerli kaynak olarak tüketilebilir.
- Katı yakıtlı sistemler içinde, çevre ve insan sağlığına minimum zarar veren en çevre dostu yakıt sistemidir.
- Yakıldığı zaman zehir etkisi olmayan gaz salınımı oluşturur.
- İşleme ve bakımı diğer yakıtlı tesislere göre daha kolay, daha güvenilir ve daha uygun maliyetli olabilmektedir.

1.1.2. Ekonomik Açıdan Pelet

Son yıllarda biyokütle, ısı üretimi için en önemli yenilenebilir kaynak haline gelmiştir. Dünya odun pelet üretimi 2006'dan 2010'a iki katına çıkarak 2010'da 14 milyon tona ulaşmıştır. 2012 yılında FAO, ahşap pelet üretimi ve ticareti hakkında küresel istatistikler toplamaya başladı ve ilk küresel tahminini henüz üretmiştir. Bu, küresel odun pelet üretiminin 2012 yılında 19 milyon ton olduğunu ve Avrupa ve Kuzey Amerika'nın neredeyse tüm küresel üretim ve tüketimi oluşturduğunu göstermektedir (Üstün ve Genç, 2015).

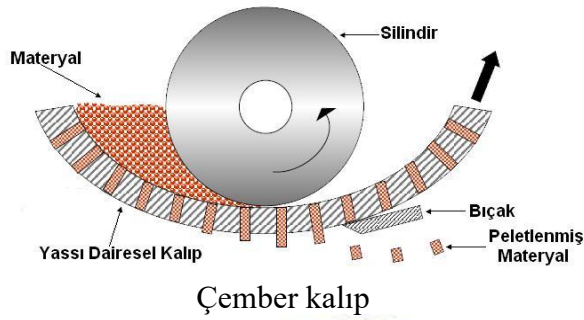
Orman Genel Müdürlüğü verilerinde, odun dışı orman ürünlerinden olan defnenin 2021 yılında orman köylülerine 175 milyon TL ekonomik katkı sağladığı bildirilmiştir (OGM, 2022).

Avrupa ülkeleri İsveç, Fransa, Almanya ve Avusturya'da konut ısıtmada kullanılan pelet kazanları konusunda basit ve ucuzdan, pahalıya kadar çeşitli alternatifler içeren

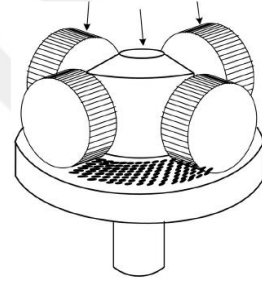
gelişmiş bir pazar bulunmaktadır. Özellikle odun pelet üretimi, özellikle Avrupa'da fosil yakıtları yenilenebilir yakıtlarla ikame ederek atmosfere karbondioksit emisyonlarını azaltmayı amaçlayan politikalar ve biyoenerji kullanım hedefleri tarafından oluşturulan talep nedeniyle son yıllarda çarpıcı bir şekilde artmıştır. Biyokütlenin peletlenmesi, talaş, saman ve diğer otsu biyokütle gibi düşük kütle yoğunluğuna sahip malzemelerin kütle ve enerji yoğunlaştırılmasını içermektedir. Bu işlem, nakliye maliyetlerini azaltır ve daha az toz oluşumu ile biyokütlenin daha iyi işlenmesini ve beslenmesini sağlamaktadır (Jungingera, 2008).

1.1.3. Peletleme Teknolojisi

Peletlemede, presleme bakımından günümüzde 2 tip teknoloji kullanılmaktadır. Bunlar düz ve çember kalıplı presler olarak ikiye ayrılabilir (Şekil 1.5).



Çember kalıp



Düz kalıp



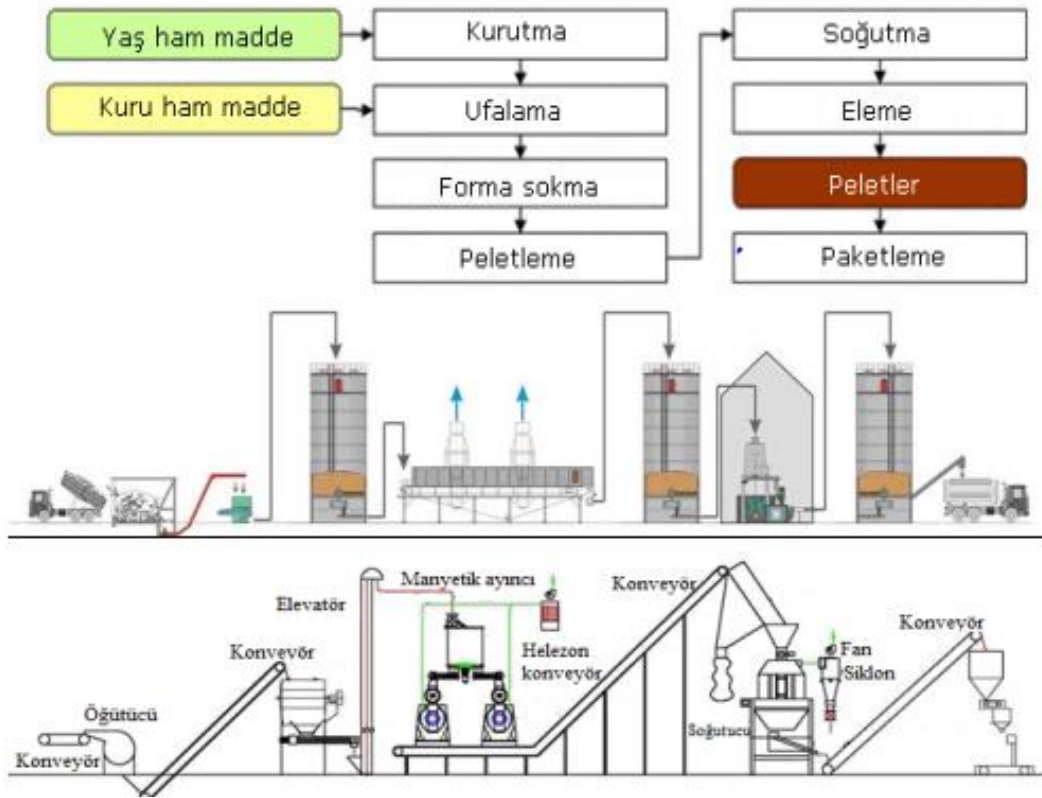
Şekil 1.5. Peletleme teknolojisi ve pelet makinaları (Karaca, 2021)

Çalışma prensiplerine bakıldığında düz kalıp pres yaklaşık olarak 2-3 m/s hızla dönmekte ve sıralı delikli disk üzerinde bir, iki veya daha fazla sıkıştırma silindiri

bulundurmaktadır. Kalıbın şeklini almak üzere diskler vasıtasıyla materyal kalıp deliklerinde sıkıştırılmakta sonuç olarak peletlenmiş olarak çıkmaktadır.

Dönen delikli çemberin iç çevresine bastıran sıkıştırma silindirleri çember kalıplı preslerde sürekli olarak dönmektedir. Materyal kalıp deliklerinde sürekli olarak sıkışan peletler kalıp şeklinde çıkmaktadır (Küsek ve ark., 2015).

Bir pelet üretim tesisinin iş akış şeması Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6. Biyokütle peletleme üretimi işlem akışı (Çelik, 2011)

1.2. Defne Bitkisi ve Kullanımı

Defne (*Laurus nobilis L.*), Akdeniz bölgesine özgü aromatik, yaprak dökmeyen bir ağaçtır. Defne, Akdeniz veya okyanus iklimi olan bölgelerde süs bitkisi olarak, soğuk bölgelerde ise ev bitkisi veya sera bitkisi olarak yaygın olarak yetiştirilmektedir. Lezzetinden dolayı antik Yunan ve Romalılarından bu yana defne yaprakları yemeklere farklı bir aroma katmak için yemeklerde baharat olarak aromatik bir bitki olarak kullanılmaktadır. Öte yandan, geçmişte kullanılan bitkisel kökenli ilaçların sağlığa birçok faydası düşünüldüğünde defne oldukça popüler hale gelmektedir. Bu bağlamda defne,

grip semptomlarını ve bronşiti hafifletmeye, sindirim sorunlarına ve uykusuzluğa çare olarak karşımıza çıkıyor. Ayrıca, defne yağı ikincil bir bileşen olarak, defne sabununun ayırt edici kokulu özelliğini veren bir bitki olarak da kullanılmaktadır (Yılmaz ve Çiftçi, 2021).

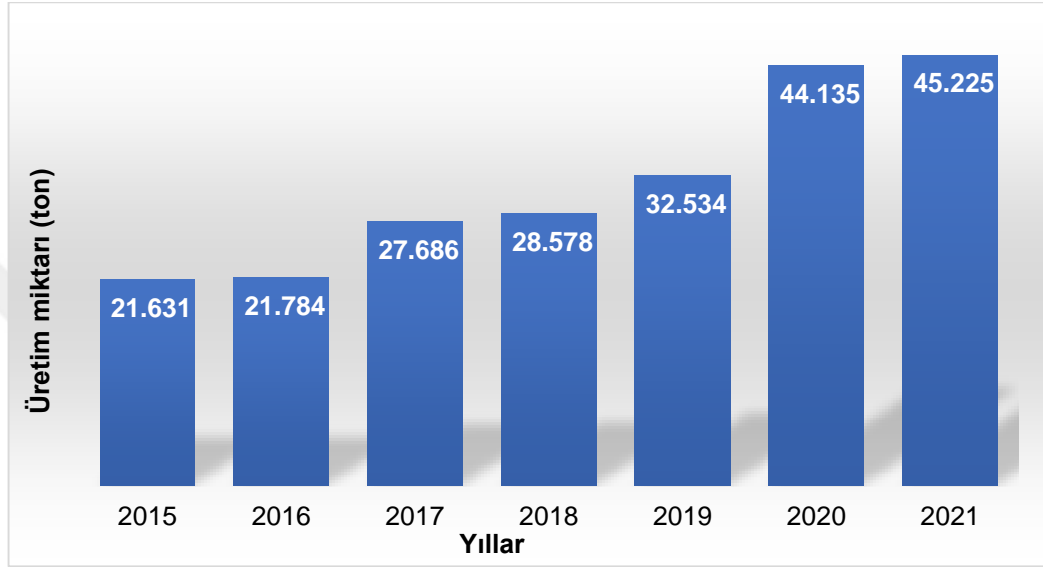


Şekil 1.7. Defne yaprağı (OGM, 2022)

Türkiye'nin bütün kıyı şeridi boyunca yetişen ve doğal olarak bulunan Defne ağacı (*Laurus nobilis* L.) genellikle Akdeniz ve Ege bölgelerinde ve kısmen subtropik iklimin etkisini gösterdiği oranda kıyı şeridinden daha iç bölümlere kadar da yayılabilmektedir. İklim istekleri bakımından defne bitkisi, yazları sıcak kışları ılıman geçen bölgelerde ve 600-800 metre yüksekliklerde yetişebilmektedir. Defne bitkisinin genellikle yaprak ve meyve kısımları tüketilmektedir. Vejetatif büyümenin durduğu Temmuz -Ekim ayları arasında defne yaprağı hasadı yapılmaktadır. Yaprak kalitesi bakımından en iyi zaman defne bitkisinin 2-3 yaşları arasındadır ve bu yaprakların sürgünlerde bulunması nedeniyle yaprak hasadı bu yaprakların toplanması biçiminde olmaktadır. Baharat olarak kullanılan kurutulmuş defne yaprakları genellikle konservelerde, çorba, balık ve et yemeklerinde kullanılabilir. Bunların yanı sıra defne yaprağı, böceklerin üremesini engelleyen kimyasal içerikleri barındırmasından dolayı kuru incir, üzüm ambalajları içerisinde de kullanılmaktadır. Defne yaprakları yağ gıda sanayinde eterik yağ eldesiyle kullanılabilir. Sabun sanayinde, kimya ve ilaç endüstrisinde ve bazı likörlerin yapımında meyvelerinden elde edilen yağ kullanılabilir (Semerci ve Çelik, 2017).

tüm Akdeniz ülkelerinde ve Rusya'nın Karadeniz kıyılarında yetişebilmektedir (Yılmaz ve Çiftçi, 2021).

Defne bitkisinin 2015-2021 yılları arasında yıllık yaprak üretim değerleri Şekil 1.10'da ve ihracat miktarı ve geliri Çizelge 1.1'de verilmiştir. Defne yaprağının son verilerde orman köylüsüne getirisi 44.3 milyon USD seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 1.10. Defne yaprağı üretim miktarı (OGM, 2022)

Çizelge 1.1. Defne yaprağının ihracatı (OGM,2022)

Yıl	İhracat (Dolar)	Miktar (Ton)
2015	35,831,000	12,724
2016	40,101,000	14,073
2017	36,059,000	12,709
2018	40,196,000	14,589
2019	38,235,000	13,513
2020	44,681,000	16,413
2021	44,265,000	16,450

Akdeniz bölgesine has bir ürün olan defne yağı, defne yaprağından damıtma yöntemiyle elde edilmektedir. Defne yaprağı, yağı alındıktan sonra yakacak olarak kullanılabilir. Defne yaprağının işlenmesinin dağınık ve kayıt tutulmamasından dolayı bölgelerde ne kadar potansiyel olduğuna dair tam olarak doğru bir tespit yapılamamaktadır.

Bu alışmada Hatay ilinde defne yaprağı işleme tesislerinde ortaya çıkan defne yaprak ve dal atıklarından biyopelet yakıtı üreterek bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilirliğini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla üretilen biyoyakıtın fiziksel, kimyasal ve ısıl değerleri ile yanma neticesinde oluşacak baca gazı emisyonları belirlenmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bugüne kadar biyoyakıtlar konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan başlıcaları aşağıda sıralanmıştır.

Mani ve ark., (2006) tarafından yapılan çalışmadaki araştırma konusu; bazı bitki materyalleri (buğday samanı, arpa samanı, mısır koçanı ve darı bitkisi) peletlenmiş olup, peletlerin mekanik özellikleri üzerine farklı sıkıştırma kuvveti, parçacık boyutu ve nem içeriğinin etkileridir. Öğütülen biyokütle örnekleri; 3 farklı parçacık boyutunda (0.8, 1.6, ve 3.2 mm), 5 farklı sıkıştırma kuvvetinde (1000, 2000, 3000, 4000 ve 4400 N) ve 2 farklı nem içeriğinde (%12 ve %15 yaş bazda) peletlere ayrılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek pelet yoğunluğunun (1136 kg/m³) mısır koçanı örneklerine ait olup, %12 (y.b.) nem içeriğinde ve 3.2 mm parçacık boyutunda düşük sıkıştırma kuvveti uygulanarak elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Mısır koçanındaki yüksek protein eridiğinde yapıştırıcı özelliğini, düşük sıkıştırma kuvvetlerinde dahi açığa çıkan yüksek sıcaklığın etkisi ile göstermiştir. Peletlerin yoğunluğu; sıkıştırma kuvveti, materyal parçacık boyutu ve nem içeriğinden önemli derecede etkilenmiştir. Nem içeriğinin artması ise pelet yoğunluğunu azaltırken, materyal parçacık boyutunun azalması pelet yoğunluğunu arttırmıştır. Buğday samanından üretilen peletlerde farklı parçacık boyutları pelet yoğunluğu üzerine önemli bir etki göstermemiştir. Sıkıştırma kuvvetinin artışı, pelet yoğunluğunun artmasına sebep olmuştur.

Relova ve ark., (2009)'nın, *Pinus caribaea* ve *Pinus tropicalis* artıklarını kullanarak pelet yaptığı çalışmada, peletleri oluşturan bitkisel hammaddenin partikül büyüklüğünün, nemin ve pres basıncının etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Sonunda partikül boyutu ile basıncın aralarında bir korelasyon olduğunu, ideal 8 partikül boyutunun 0.63-1 mm arasında olması gerektiğini ve nem içeriğinin de %12'nin altında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Pelet yapımı sırasında, iğne yapraklı ağaç türlerine ait hammaddelerin kullanıldığı işletmede odunsu hammaddelerden yapılan peletlerin sağlamlığını arttırmak için lignosülfanat, patates nişastası ve patates kabuğu kullandıkları çalışmada, ekledikleri içeriklerin pelet oluşumundaki kompaktlığı sağlamada etkili olduğunu fakat ısı değerlerini değiştirmediğini gözlemlemişlerdir.

Tüplek (2011), materyal olarak çam talaşı ve MDF tozunu kullanarak peletleme işlemi yapmıştır. Kimyasal analizlerde; uçucu madde alt ısı değer, üst ısı değer, kül,

toplam nem ve kükürt değerleri ölçülmüştür. Laboratuvar şartlarında yakılmasıyla oluşan yanma gazlarının (CO, CO₂, SO₂, NO, NO_x) emisyon değerleri ölçülmüştür. Belirli oranda (%9) bağlayıcı madde olarak kullanılan zeolit, melas ve nişastanın baca gazı emisyon değerleri üzerindeki etkisini pelet numuneleri üzerinde incelemiştir. Pelet numunelerin yanma hızlarını ölçebilmek için sabit yatak yakma deney cihazı tasarlanmış ve deney cihazında 550 °C'de yakılarak yanma hızları tespit edilmiştir. Kullanılan bağlayıcı maddelerin, örneklerin yanma hızına etkisini de incelemiştir. Çam talaşı pelet numunesinin kül içeriğini %0.26 olarak bulmuş ve içeriğinde kükürt tespit edilememiştir. Alt ısı değeri de 4521 cal/g olarak belirlemiştir. MDF tozu pelet numuneleri, yakıldığı zaman içeriğindeki azotlu kimyasallar, doğal çam talaşı pelet numuneleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek NO ve NO_x emisyonlarına sebep olmuştur. En düşük emisyon değerleri, %9 oranında zeolit bağlayıcılı çam talaşı pelet numunesinde görülmüştür. İçeriğindeki yanmayı geciktirici kimyasallardan dolayı, MDF tozu pelet örneğinin ısı değeri 3857 cal/g olup, bu tür MDF tozu peletlerin, sanayi alanlarında yakılarak değerlendirilmesinin uygun olduğunu belirtmiştir. Konut yerleşimleri için uygun olmadığını saptamıştır.

Santamarta ve ark., (2012) çalışmalarında, kanola bitkisi samanı peletlenmiş, kısmen yüksek ısı değeri ve düşük nem içeriğinden dolayı kullanılması uygun bir alternatif yakıt olduğunu belirtmişlerdir. Peletlerin kalite özelliklerindeki (pelet aşınma direnci, basınç dayanımı, pelet parçacık yoğunluğu ve pelet boyutları) değişimleri, 48 haftalık bir depolama süresince incelemişler. Depolama süresince pelet çapında herhangi bir değişim belirlememişler. Hammadde nem içeriği %13.5-15.7, pelet nem içeriği ise %9.3-12.1 arasında değişim göstermiştir. Elde edilen veriler sonucunda pelet parça yoğunluğu ve basıncının depolama süresinin uzunluğu ile değiştiği, pelet aşınma direncinin depolama boyunca değişmediğini ve 48 hafta süren depolama ile pelet yoğunluğunun büyük oranda azaldığını saptamışlardır.

Karaca ve Başçetinçelik (2014) yaptıkları çalışmada, defne yaprağı atıklarından çapı 57 mm olan briketler üretmişlerdir. Çalışmada elde edilen özgül kütle değerinin literatürde yer alan konik helezon briket makinalarında yapılan briketlerin özgül kütlesi sınırlarının (1000-1400 kg/m³) içinde kaldığını belirlenmişlerdir. Briketleme makinasını iş kapasitesi 120 kg/h, özgül enerji tüketimini ise 0.05 kWh/kg olarak belirlemişlerdir. Briketleme sonucunda defne yaprağı atıklarının sıkışma oranına bakıldığında özgül

kütlesinin yaklaşık 19 kat arttığını saptamışlardır. Bu sonuç, briketleme işleminin çok başarılı olduğunu göstermektedir.

Yılmaz (2014), pamuk ve susam saplarının peletlenmesi işlemini gerçekleştirmiştir. Materyal olarak üç farklı nem içeriğine sahip olan kurutulup öğütülmüş haldeki pamuk susam sapları kullanılmış ve 15 kW motor gücüne sahip peletleme makinesi ile çalışmıştır. Peletlerin dayanıklılık, sıkıştırma, gerilme, kırılma ve nem alma dirençlerini belirlemiştir. Çalışmada elde edilen peletlerin; çap aralığının 8.10 mm ile 8.97 mm arasında, hacim yoğunluğunun 430-717 kg/m³ arasında ve parça yoğunluğunun ise 922-1368 kg/m³ arasında değiştiğini hesaplamıştır. Peletlerin nem içeriğinin arttıkça yoğunluklarının da arttığını gözlemlemiştir. Peletlerin, fiziksel testler sonucunda dayanıklılığının yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Aragon-Garita ve ark., (2016) kamış, bataklık sazı, fil otu, bambu ve sorgum bitki atıkları ile peletleme işlemi gerçekleştirmişler ve peletlerin nem içeriğini, ısıl değerlerini ve pelet parça yoğunluklarını ölçmüşlerdir. Peletlerin parça yoğunluklarını 1129-1294 kg/m³ aralığında saptamışlar ve en yüksek değeri fil otu peletinden elde etmişlerdir. Peletlerin ısıl değerlerini 17.1-20.3 MJ/kg aralığında saptamışlar ve en yüksek değeri kamış peleti için belirlemişlerdir. Peletlerin başlangıç nem içeriklerini %7.6-15 (y.b) aralığında değiştiğini ve peletleme işlemi sonunda ise %6.7-12.6 aralığında değiştiğini hesaplamışlardır.

Jackson ve ark., (2016) çalışmalarında 4 çeşit bitki (miscanthus, mısır koçanı, darı bitkisi ve buğday samanı) peletlemişler. Materyallerin nem içeriklerini (y.b.) mısır koçanı için %15, %20 ve %25 iken, miscanthus, darı bitkisi ve buğday samanı için %10, %15, %20 ve %25 olarak belirlemişlerdir. Materyal nem içeriği arttıkça, mısır koçanı peletinde makine özgül enerji tüketimi artarken, miscanthus, darı bitkisi, buğday samanı için azaldığını belirtmişler. Peletlerin mekanik dayanıklılığını artmasında miscanthus, darı bitkisi ve buğday samanı için nem içeriğindeki artışın önemli oranda etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. En yüksek mekanik dayanıklılık mısır koçanında olduğunu belilemişler. Peletleme makinesinin özgül enerji tüketiminin 101-324 kWh/t aralığında değiştiğini belirlemişlerdir. Nem içeriğine artmasıyla pelet hacim yoğunluğunun arttığını ve en yüksek pelet hacim yoğunluğunu mısır koçanı peletinde %25 (y.b.) nem içeriğinde 918 kg/m³ olarak ölçmüşlerdir.

Bilgin ve ark. (2016) peletleme işleminde çay atıklarını kullanmıştır. Peletlerin kalite özellikleri olarak hacim yoğunluğu, parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, darbe dayanım direnci, basınç direnci ve nem alma durumunu belirlemiştir. Ayrıca çalışmada, pelet makinesinin kapasitesi ölçülmüştür. Ortalama 6.1 mm çapında, 23.5 mm ve 0.8 g peletler elde edilmişler. Peletlerin nem alma direncinin ortam sıcaklığı ve nemine bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Peletlerin düşük sıcaklık ve bağıl nem koşullarında nem kaybettiğini belirlemiştir. Çay peletlerinin hacim ve parça yoğunluğu değerleri 601 kg/m^3 ve 1158 kg/m^3 , mekanik dayanıklılık direnci %81 ve basınç direnci 476 N olarak ölçmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda çay peletlerinin dayanıklılığının yüksek olduğunu ifade etmişler.

Baz (2019) yaptıkları çalışmada fındık zurufunu peletlemiştir. Peletlerin hacim yoğunluğu, parçacık yoğunluğu, mekanik dayanıklılık, baca gazı emisyon değerleri, ısı değeri ve kül içeriği değerlerini ölçmüştür. 15 kW gücünde peletleme makinesinde peletleme işlemi gerçekleştirilen %12 nem içeriğindeki materyal, 10 mm öğütme inceliğindeki bıçaklı tip değirmende öğütülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu; hacim yoğunluğu 552.40 kg/m^3 , parçacık yoğunluğu 1309.38 kg /m^3 , mekanik dayanıklılık direnci %89.57, nem içeriği %11.54 olarak tespit etmişlerdir. Yanma sonucu ısı değeri 18.35 MJ/kg, kül içeriği %7.19, baca gazı emisyon değerleri sırası ile CO 1383.67 ppm, CO₂ %0.90, O₂ %19.17, NO 121 ppm, NO_x 61.67 ppm olarak belirlemiştir.

Dok ve ark., (2018) çalışmalarında şeftali budama atıklarından briket ve pelet yakıtı üretmişlerdir. Bu yakıtların özellikleri incelenmiş olup şeftali budama artıklarının yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Yapılan analizler sonucunda şeftali budama atıklarından üretilen briket ve peletlerin ısı değerinin 4507 kcal/kg, kül içeriğinin %3.32, briket yoğunluğunun 812.99 kg/m^3 ve mekanik dayanıklılığının %94.88 olduğunu belirlemiştir.

Alparslan ve Ertekin (2018), tarafından yapılan çalışmada karanfil saplarının parça boyutunun peletlenme özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Seralardan alınan karanfil atıklarını kuruttuktan sonra çekiçli değirmende öğütme işlemi yapılmıştır. Daha sonra motor gücü 7.5 kW olan peletleme makinesinde peletleme işlemine tabi tutulmuşlar. Kullanılan peletleme makinesinin kalıp çıkış delik çapı 6 mm ve makine materyalin türüne bağlı olarak 70-100 kg/h kapasiteye sahip olduğunu belirtmişler. Denemede 2, 4, 6 mm olmak üzere 3 farklı parçacık boyutu kullanılmışlar. Peletlerin basınç direnci,

dayanıklılık direnci, hacim ve parça yoğunluğu, nem alma direnci belirlenmiş. Aynı zamanda makinenin enerji tüketim değerini de ölçülmüşler. Çalışmanın neticesinde, yaklaşık olarak 6.3-6.4 mm çapında peletlerin eldesi sağlanmıştır. Peletlerin, materyal boyutuna bağlı olarak parça yoğunluğunu 1098.37-1146.40 kg/m³, hacim yoğunluğunu ise 591.75-624,02 kg/m³ olarak belirlemiştir. Nem alma direnç değerinin %18.5-20 arasında olduğunu belirlemiştir.

Zengin ve ark. (2019) yaptığı çalışmada; Bayburt yöresinden temin edilen karakavak (*Populus nigra*) atıkları yongalanarak uygun boyuta getirildikten sonra, pelet üretimi gerçekleşir. Üretilen peletlerin; ısı değer, kül içeriği, nem oranının belirlenmesi, baca gazı emisyonlarının ölçülmesi ve elementel analizleri yapılmıştır. Kavak odun atıklarından elde edilen peletlerinin ısı değeri ve kül yüzdesi sırasıyla 18.91 MJ/kg (4515 cal/g) ve %2.59 olarak belirlenmiştir. N, C, H, O miktarları sırasıyla %0.52, %47.44, %5.92 ve %46.11 olarak bulunmuştur. Baca gazı emisyon değerleri; O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, SO₂ sırasıyla %15.70, %5.06, 1279 ppm, 64 ppm, 66.67 ppm ve 23 ppm olarak tespit edilmiştir. Kavak odun atıklarından yapılan odun peletinin EN 14961-2'ye göre; nem içeriği, kül içeriği, ısı değeri, S (%) ve N (%) parametreleri bakımından EN-B kategorisinde yer aldığı belirtilmiştir.

Aktaş (2022) yaptığı çalışmada, Türkiye'de üretilen odun peletlerinin kalite özelliklerini araştırmış ve katı biyoyakıtların yakıt özelliklerine göre farklı standartlara (DIN51731, DIN Plus, ÖNORM 7135, ISO 17225-2) uygunluğu incelemiştir. Bunun yanı sıra, bu peletler için baca gazı ölçümleri de yapılmıştır. Bulunan baca gazı emisyon sonuçları, Avrupa Birliği 2015/1185 ve 2015/1189 yönetmelikleri, TS EN 303-5 standardı, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY)" ve "Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" (IKHKKY) ile belirlenen emisyon sınırları ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, ülkemizde 5 farklı şehirden odun peleti üretimi ve satışı yapan 10 farklı işletmeden örnekler alınmış ve örneklerin standartlarda limit değerleri gösterilen özelliklerden olan uzunluk, çap, yoğunluk, mekanik dayanıklılık, nem içeriği, kül içeriği, ısı değeri ve baca gazı emisyon değerleri bulunmuştur. Kül içerikleri incelendiğinde, örnekler içinde ENplusA1 sınıfına uygun pelet örneği olmadığı, %40'ın ENplusA2 sınıfına ve %80'inin ise ENplusB sınıfına girdiği, %20'sinin standart dışı olduğunu tespit etmiştir. Pelet örneklerinin CO emisyon değerlerinin AB yönetmeliklerinde bulunan emisyon sınır değerinin üstünde kaldığı,

bundan dolayı AB Ekodesign-direktifinde bulunan hiçbir ısıtma sisteminde bu çalışma kapsamında araştırılan örneklerin uygun olmadığını belirlemiştir. Aynı şekilde IKHKKY ve SKHKKY'de belirlenmiş emisyon limitleri araştırıldığında bu yönetmeliklerde bulunan yakma sistemlerinde pelet örneklerinin CO emisyonu açısından uygun olmadığını bildirmiştir. TS EN 303-5 standardında belirtilmiş CO emisyon değerlerine göre incelenen tüm pelet örneklerinin sadece "Sınıf 3"e 50 kW ısıtma gücü değerine kadar tüm ısıtma sistemlerinde kullanılmasının uygun olduğu, peletlerin %80'inin 50kW-150 kW ısıtma gücü sahip sistemlerde yararlanılabileceği ama daha yüksek ısıtma gücü sahip sistemler için kullanılmasının uygun olmadığını ortaya koymuştur.



3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada biyopelet hammaddesi olarak Yayladağı ilçesinde ticari olarak faaliyet gösteren defne yaprağı işleme tesisi atıkları olan defne yaprağı ve dalları kullanılmıştır. (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Defne dalı ve yaprağının öğütülmemiş ve öğütülmüş hali

3.2. Yöntem

Peletle işleme Hatay'ın Yayladağı ilçesinde ticari olarak faaliyet gösteren bir firmanın (Defne Pelet) imkanları kullanılarak yapılmıştır.

3.2.1. Peletleme İşlemi

Defne fabrikasının atıkları olan defne dal ve yaprakları peletleme işletmenin deposuna getirilmiştir. Çalışma alanına getirilmiş materyaller zemine serilmiş ve doğal olarak kurumaya bırakılmıştır. Üç günlük kurutma süresi sonunda materyal nem içerikleri ortalama %13 değerlerinin altına düşürülmüştür.

Çalışmada atık yaprak ve dallarda farklı oranlarda karışımlar yapılarak 4 farklı pelet elde edilmiştir. Bu amaçla toplam kütleleri 100 kg olacak şekilde 4 farklı karışım oluşturulmuştur. Her bir karışımdaki yaprak oranları sırasıyla %25-50-75-100 olacak şekilde elde edilen karışımların kalan kısımları da defne dallarından oluşmaktadır. Buna göre de denemelerde bu oranları ifade edecek şekilde örnekler Y25, Y50, Y75 ve Y100 olarak isimlendirilmiştir (Çizelge 3.1)

Çizelge 3.1. Deneme materyallerindeki yaprak ve dal oranları

Karışım Örnek Adı	Karışımındaki yaprak oranı (%)	Karışımındaki dal oranı (%)
Y25	25	75
Y50	50	50
Y75	75	25
Y100	100	0

Elde edilen karışımlar öğütüldükten sonra helezon götürücü ile pelet makinası materyal deposuna iletilmiştir (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Defne yaprak ve dal karışımının peletleme makinesine iletilmesi

Karışımların peletlenmesinde, işletmenin sahip olduğu 75 kW motor gücüne sahip, 500 kg/h kapasite ile 9 mm çapında ve 10-40 mm uzunluğunda peletler üreten düz kalıplı peletleme makinesi kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Pelet makinesi görünümü

Çalışma için hazırlanan karışımlardan kaliteli bir pelet üretimi için öncesinde deneme materyalleri haricinde öğütülmüş defne atıkları kullanılarak makine yaklaşık 15 dakika çalıştırılıp, kalıp ve disk sıcaklığının yaklaşık 70-80°C sıcaklığa ulaşması sağlanmıştır. Bu ön peletleme işlemi sonrasında makine istenilen kalitede peletler yapmaya başladıktan sonra deneme materyalleri materyal deposuna sürekli olarak bir kürek yardımı ile elle beslenmiştir.

Pelet makinasından çıkan peletler makine çıkışında yer alan ve üzerinde fanlar bulunan elek sisteminden geçerek hem elenmekte hem de soğutulmaktadır. Bölümün sonunda ise soğumuş ve elenmiş olan peletler çuvallanmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Pelet eleme ve soğutma bölümü

Ortalama 3-4 cm olması gereken peletler, kalıp altında bulunan ve sıkıştırma diski ile dönen bir bıçak mekanizması ile ayarlanmıştır. Peletleme işlemi bitmesinin hemen ardından zemin üzerinde çuvalların üstünde soğutulmaya bırakılmış ve soğuma işlemi tamamlandıktan sonra hava almayan plastik poşetlere konulmuştur. Tüm deneme karışımları için aynı işlemler tekrarlanmış ve peletleme denemeleri tamamlanmıştır. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5. Karışım peletleri

Çalışmada kullanılan defne yaprağı ve dallarından oluşan karışımların peletleme öncesi nem ve yığın yoğunlukları ile peletleme sonrasında elde edilen peletlerin nem içeriği, kül içeriği, ısı değeri, yığın yoğunluğu, karakteristik boyutları, mekanik dayanıklılık, elementel analiz ve baca gazı analizleri gibi özellikleri ilgili standartlar kullanılarak belirlenmiştir.

Bu özelliklerden nem içeriği, yığın yoğunluğu ve karakteristik boyutlar Biyosistem Mühendisliği laboratuvarlarında, diğer özellikler ise Samsun Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Biyoyakıt ve Biyokütle Bölümü laboratuvarlarında yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Peletlerin ısı değeri, kül içeriği ve elementel analiz belirleme işlemleri öncesinde peletler öğütülerek ilgili cihazlarda kullanılacak duruma getirilmişlerdir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Pelet örneklerinin öğütme cihazında öğütülmesi

3.2.2. Nem İçeriği

Çalışmada hazırlanan karışımların peletleme öncesinde ham materyalin ve peletleme yapıldıktan sonra peletlerin nem içerikleri EN 14774-2 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Bu amaçla ilgili standartta belirtildiği şekilde materyaller kurutma fırınında 105 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilmiştir (Şekil 3.7). Kurutulmadan öncesi ve sonrası ölçülen kütleler aşağıdaki eşitlik kullanılarak yaş bazda nem içerikleri belirlenmiştir.

$$MC_{wb} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

MC_{wb} : Materyal nem içeriği (%)

m_1 : Kurutma öncesi kütle, (g)

m_2 : Kurutma sonrası kütle, (g)



Şekil 3.7. Karışımların nem içeriğinin belirlenmesi

3.2.3. Yığın Yoğunluğu

Hazırlanan yaprak dal karışımlarının peletleme öncesi ham hali ile peletleme sonrası oluşan peletlerin yığın yoğunlukları hacmi bilinen bir kaba materyallerin yığın oluşturacak şekilde 30 cm yüksekten doldurulması sonrası aşağıdaki eşitliğe göre kütleleri ölçülerek kabın darası düşüldükten sora kalan materyal kütesinin kabın hacmine bölünmesi ile kg/m^3 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.8). Ölçümler her karışım içi beşer tekrarda yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

$$\rho_b = \frac{m_t - m_c}{V_c} \quad (3.2)$$

Burada;

ρ_b : Materyal yığın yoğunluğu (kg/m^3)

m_t : Dolu kap kütlesi (kg)
 m_c : Boş kap kütlesi (kg)
 V_c : Kabin hacmi (m³)



Şekil 3.8. Ham materyal ve peletlerin yığın yoğunluğu ölçümü

3.2.4. Pelet Karakteristik Boyutları

Karışımlardan rastgele seçilen 25 örneğin çap ve uzunluk değerleri dijital kumpas yardımıyla belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda peletlerin ortalama çap ve uzunlukları belirlenerek EN ISO 17829 standardına göre peletlerin sınıflandırılması yapılmıştır (Şekil 3.9).

Sınıf	Çap (D)	Uzunluk (L)
D06	≤ 6 ± 1,0 mm	3,15 ≤ L ≤ 40 mm (95 w-%)
D08	≤ 8 ± 1,0 mm	3,15 ≤ L ≤ 40 mm (95 w-%)
D10	≤ 10 ± 1,0 mm	3,15 ≤ L ≤ 40 mm (95 w-%)
D12	≤ 12 ± 1,0 mm	3,15 ≤ L ≤ 50 mm (95 w-%)
D25	≤ 25 ± 1,0 mm	10 ≤ L ≤ 50 mm (95 w-%)

Maksimum pelet uzunluğu: 45 mm sınıf D06, D08 ve D10

Şekil 3.9. Pelet çap ve uzunluk ölçüm ve sınıflandırma (Acaroğlu ve Haciseferoğlu, 2014)

3.2.5. Mekanik Dayanıklılık

Peletlerin mekanik dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesinde TS EN ISO 17831 standardına göre hazırlanmış motor gücü 0.37 kW ve redüktör devri 50 d/d olan

dayanıklılık test cihazı ve yöntemleri kullanılmıştır (Şekil 3.10). Pelet örnekleri içerisinde rastgele seçilen 30 adet pelet kullanılmıştır. Peletlerin basınç direnci bulunduğundan sonra basınç direncinin pelet uzunluğuna oranlanmasıyla özgül basınç direnci hesaplanmış ve peletler tartılarak ilk kütleleri kaydedilmiştir. Test sonunda peletler elekten geçirildikten sonra tekrar tartılmış ve peletlerin son kütleleri kaydedilmiştir. Dayanıklılık direnci ve kırılma direnci testleri sonrası peletler delik çapı 3 mm olan elekte elenmiş ve elek üzerinde kalan numuneler kayıp olarak değerlendirilmemiştir. Elenmeden tartılan peletler ile eleme sonucu elekte kalan peletler hassas terazi ile tartılarak yüzde oranda aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.,

$$DU = \frac{m_{st}}{m_{su}} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada;

DU : Mekanik dayanıklılık direnci (durabilty) (%)

m_{st} : Elek üzerinde kalan pelet kütlesi (g)

m_{su} : Elek altında kalan pelet kütlesi (g)



Şekil 3.10. Pelet mekanik dayanıklılık test cihazı

3.2.6. Üst Isıl Değer

Peletlerin üst ısıl değerleri, TS EN ISO 18125 standardına göre kalorimetre cihazı ile ölçülmektedir. (Şekil 3.11). Test öncesi peletler öğütülüp, 1 mm elekten geçirildikten

sonra 24 saat 105 °C’de bekletilerek kurutulmuştur. 0,5-1 g kütlesindeki kurutulmuş örnekler standart koşullarda bir kalorimetre cihazının bir parçası olan yakıt bombasında oksijen ortamında yakılıp, kalorimetre kabı içindeki suyun sıcaklık derecesinin artışına ve sistemin ortalama gerçek ısı sığasına göre ısı değeri cihaz tarafından cal/g cinsinden belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar MJ/kg birimine dönüştürülmüştür.



Şekil 3.11. Kalorimetre ve oksijen dolum cihazı

3.2.7. Kül İçeriği

Pelletlerin kül içerikleri, TS EN ISO 18122 standardına göre kül fırını kullanılarak tespit edilmiştir. Laboratuvarında ısı işlemlerde kullanılan porselen kaplara (krozeler) 1’er g olarak hazırlanmış örnekler (etüvde kurutulmuş) tartılıp fırına yerleştirilir. Fırın sıcaklığı 105 °C’ye yükseltilerek bu sıcaklıkta 12 dk bekletilir. Sonra sıcaklık kademeli bir şekilde önce dakikada 10 °C artışla 250 °C’ye yükseltilip bu sıcaklıkta 30 dakika bekletilir. Daha sonra sıcaklık yine kademeli bir şekilde dakikada 20 °C artışla 575°C’ye yükseltilip bu sıcaklıkta 180 dk bekletildikten sonra 105 °C ye düşmesi beklenir. Son olarak krozeler desikatöre alınarak soğutulup tartılır. Yapılan tartımlar sonucunda kül içerikleri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$AC = \frac{(m_{k+a} - m_k)}{(m_{k+p} - m_k)} \times 100 \quad (3.4)$$

Burada

AC : Kül içeriği (ash content)(%)

m_{k+a} : Kroze ve kül kütlesi (g)

m_{k+p} : Kroze ve pelet kütlesi (g)

m_k : Kroze kütlesi (g)

3.2.8. Elementel Analiz

Peletlerin elementel analizi Thermo Scientific Application Note:42151 metoduna göre elementel analiz cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.12). Analiz sonucunda pelet karışımlarının karbon (C), hidrojen(H), azot (N), kükürt (S) ve oksijen (O) içerikleri belirlenmiştir. Analiz sonucunda içerikler kütlece % olarak belirlenmektedir. Elementel analiz sonuçları özellikle yakıtların ısıl değerlerinin tahmin edilmesinde ve yanma için gerekli olan ideal hava debisinin ve miktarının hesaplanmasında kullanıldığı için biyoyakıtların karakterize edilmesinde önemlidir.



Şekil 3.12. Elementel analiz cihazı

3.2.9. Baca Gazı Emisyonu

Peletlerin yanma sonucu oluşan baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi için peletler pelet sobasında yakılmıştır. Baca gazları ölçümü için MRU Optima7 marka baca gazı analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.13). Peletler tutuşturulduktan sonra tam yanmanın gerçekleşmesi ile baca gazı ölçü aletinin algılayıcısı baca borusu üzerine soba

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hatay ili Yayladağı ilçesi Defne Pelet fabrikasından alınan %25 yaprak %75 dal-%50 yaprak %50 dal, %75 yaprak %25 dal ve %100 yaprak oranlarıyla karıştırılan defne atıkları için peletleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bu karışımların ve bunlardan üretilen peletlerin bazı fiziksel, kimyasal ve ısıl özelliklerinin belirlenmesi için yapılan analizler ve ölçümlerin sonuçları verilerek değerlendirilmiştir.

4.1. Nem İçeriği

Peletlenmemiş ham karışımların ve peletlerin belirlenen nem içerikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Defne karışımlarının nem içeriği

Karışımlar	Nem İçeriği (MC_{wb}) (%)	
	Ham karışım	Pelet
Y25	11.87 a	7.87 a
Y50	12.47 b	8.67 b
Y75	12.49 b	9.14 c
Y100	10.53 c	7.38 d
Önemlilik	*	*

* Farklı harfler grupları arasında farkın istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde önemli olduğunu gösterir.

Karışımların ham hâlindeki nem içeriklerinin %10.5 ile %12.5 arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük nem içeriği Y100 örneklerinde yani tamamının yaprak olduğu örneklerde olduğu görülmüştür. Bu durum karışıma eklenen dal kısımlarının daha nemli olduğunu göstermektedir. Peletleme işlemi sonucunda elde edilen tüm karışım peletlerinin nem içeriğinde, makine içindeki sıkışma sonucu oluşan ısı nedeniyle %27-30 aralığında nem kaybı olduğu saptanmıştır. Tüm peletlerin, EN 14961-2 standardına göre Avrupa Pelet Konseyi tarafından tanımlanan üç pelet kalite sınıflarının (ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B) nem içeriği sınır değeri olan %10'dan düşük olduğu görülmüştür. Peletlerin nem içeriği değerleri arasında farkın istatistiksel olarak ($P<0.05$) önemli olduğu belirlenmiştir.

4.2. Yığın Yoğunluğu

Peletlenmemiş ham karışımların ve peletlerin yapılan ölçümler sonucunda belirlenen ortalama yığın yoğunlukları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Defne karışımlarının yığın yoğunluğu

Karışımlar	Yığın Yoğunluğu (ρ_b) (kg/m ³)		Değişim (%)
	Ham karışım	Pelet	
Y25	218.74 a	617.79 a	282
Y50	146.60 b	555.84 b	379
Y75	125.80 c	598.23 c	476
Y100	94.19 d	517.12 d	549
Önemlilik	*	*	

* Farklı harfler gruplar arasında farkın istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde önemli olduğunu gösterir.

Ham materyal ve peletlerin yığın yoğunlukları karşılaştırıldığında peletleme işlemi sonucunda oluşan sıkıştırma oranının en fazla %549 ile Y100 karışımında olduğu görülmüştür. Karışım içindeki yaprak oranının azalması ile sıkıştırma oranının azaldığı görülmektedir. Karışımlardan sadece Y25 peletinin, EN 14961-2 standardına göre Avrupa Pelet Konseyi tarafından tanımlanan üç pelet kalite sınıflarının (ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B) yığın yoğunluğu ≥ 600 kg/m³ koşuluna uyduğu görülmüştür. Diğer peletlerin yığın yoğunlukları ise her ne kadar ilgili standartta verilen değerden küçük olsa da sınır değere yakın bir değerde kalmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda, tüm karışımların ham ve peletlenmiş durumlardaki yığın yoğunluğu değerleri arasında fark olduğu belirlenmiştir.

4.3. Pelet Karakteristik Boyutları

EN ISO 17829 standardına göre peletlerin sınıflandırılması için yapılan pelet çap ve uzunluk ölçümleri sonucu belirlenen ortalama değerler Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Defne karışım peletlerin karakteristik boyutları

Karışımlar	Pelet Karakteristik Boyutlar (mm)	
	Çap (D)	Uzunluk (L)
Y25	7.96 a	19.51 a
Y50	8.02 a	16.53 b
Y75	7.89 a	33.69 c
Y100	8.15 b	14.66 d
Önemlilik	*	*

* Farklı harfler gruplar arasında farkın istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde önemli olduğunu gösterir.

Karışımlardan üretilen peletlerin çaplarının ortalamasının yaklaşık 8 mm civarında olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerin, EN 14961-2 standardında belirtilen D08 sınıflandırması sınır değeri (8mm±1mm) içerisinde kaldığı görülmüştür. İstatistiksel analiz sonucunda Y100 karışımı dışında diğer karışımların pelet çaplarında bir fark olmadığı belirlenmiştir. Karışımlardan elde edilen peletlerin uzunluk ölçümleri sonucunda ortalama pelet uzunluklarının 14.66 mm ve 33.69 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Ölçülen bu ortalama uzunluk değerlerinin EN 14961-2 standardında belirtilen 40 mm üst sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Fakat üretilen peletlerin uzunlukları arasında istatistiksel olarak bir yakınlık olmadığı, aksine uzunlukların birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. Üretilen pelet çaplarındaki bu tekdüzeliğin, pelet uzunluklarında görülmemiş olması olumsuz bir durum olarak değerlendirilebilir. Pelet uzunluğu için istenen bu tekdüzeliği sağlanması için, pelet üretimi esnasında ilave uygulamalar yapılması önerilebilir.

4.4. Mekanik Dayanıklılık

Peletlerin paketlenmesi, taşınması esnasında ve yakma sistemlerinde yer alan yakıt besleme düzenlerinde parçalanmadan mevcut formlarında en az şekilde bozulmanın olması için peletlerin dayanıklı olması gerekmektedir. Peletlerin mekanik dayanıklılık özelliği sağlamlığını gösteren bir özelliktir. TS EN ISO 17831 standardına göre belirlenmiş olan mekanik dayanıklılık değerleri Çizelge 4.4' te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Defne karışım peletlerin mekanik dayanıklılık oranları

Karışımlar	Mekanik Dayanıklılık (%)
Y25	96.9 a
Y50	94.6 b
Y75	91.0 c
Y100	82.2 d
Önemlilik	*

* Farklı harfler gruplar arasında farkın istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde önemli olduğunu gösterir.

Peletlerin mekanik dayanıklılık özelliği değerleri incelendiğinde en düşük dayanımın Y100 karışımında olduğu görülmektedir. Pelet karışımları içeriğinde yaprak oranının artmasının pelet dayanımını azalttığı belirlenmiştir. Avrupa Pelet Konseyi tarafından EN 14961-2 standardına göre tanımlanan iki pelet kalite sınıfı (ENplus-A1, ENplus-A2) için belirlenen mekanik dayanıklılık değerine (\geq %97.5) hiçbir karışım peleti uygun olmadığı görülmektedir. Fakat ilgili konsey tarafından tanımlanan EN-B kalite sınıfı peletler için belirlenmiş değere (\geq %96.5) sadece Y25 karışım peletinin uygun olduğu belirlenmiştir. Karışımlardan üretilen peletlerin mekanik dayanıklılık özelliklerinde istatistiksel olarak bir farklılık olduğu görülmüştür. Bu durum karışım içerisindeki yaprak ve dal oranlarındaki değişimin peletin mekanik dayanıklılığını yani sağlamlığını etkilediğini göstermektedir. Karışımında yaprak oranı arttıkça üretilen peletlerin sağlamlığının azaldığı görülmüştür.

4.5. Üst Isıl Değer

TS EN ISO 18125 standardına göre belirlenen peletlerin üst ısıl değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Defne karışım peletlerin üst ısıl değerleri

Karışımlar	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Üst Isıl Değer (MJ/kg)
Y25	4556 a	19.08
Y50	4626 b	19.37
Y75	4656 c	19.49
Y100	4826 d	20.21
Önemlilik	*	

* Farklı harfler gruplar arasında farkın istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde önemli olduğunu gösterir.

Karışımlardan üretilen peletlerin ısı değerleri incelendiğinde, Y100 karışımının en büyük ısı değere Y25 karışımının ise en küçük ısı değeri sahip olduğu görülmüştür. Karışım içerikleri bakımından ısı değer sonuçları değerlendirildiğinde yaprak oranının artması ısı değeri artırmıştır. Avrupa Pelet Konseyi tarafından 14961-2 standardına göre tanımlanan üç pelet kalite sınıflarının (ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B) ısı değer aralığı olan $16 \text{ MJ/kg} \leq Q \leq 19 \text{ MJ/kg}$ koşulunun tüm karışım peletlerinin sağladığı görülmüştür. İlgili standartta kabul gören üst sınır ısı değerinin üzerinde bir ısı değeri sahip olduğu görülmektedir. Karışım peletlerin ısı değerleri arasında istatistiksel bir farkın olduğu belirlenmiştir. Aktaş (2022), tarafından yapılan çalışmada Türkiye’de üretilen odun peletlerinden seçilen örnekler üzerinde yapılan analizler sonucunda peletlerin üst ısı değerlerinin 18.08-18.49 MJ/kg aralığında değiştiği belirtilmiştir. Defne karışım peletlerinin üst ısı değerinin, odun peletlerinin belirlenen üst ısı değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca defne karışım peletlerinin üst ısı değerlerinin, Gravalos ve ark. (2016), tarafından tarımsal atıkların üst ısı değerlerini verdiği çalışmada belirtilen bazı tarımsal atıkların üst ısı değerlerinden daha yüksek olduğu da görülmüştür (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Bazı tarımsal artık ve atıkların üst ısı değerleri (Gravalos ve ark., 2016)

Tarımsal artık ve atıklar	Üst Isıl Değer (MJ/kg)
Çeltik kabuğu	16.64
Antepfıstığı kabuğu	17.32
Zeytin çekirdeği	17.97
Badem kabuğu	18.17
Pamuk sapı	17.73
Şeftali çekirdeği	19.00
Ayçiçeği kabuğu	18.67

4.6. Kül İçeriği

Defne karışım peletlerinin TS EN ISO 18122 standardına göre belirlenen kül içeriği değerleri Çizelge 4.7’ de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Defne karışım peletlerin kül içeriği değerleri

Karışımlar	Kül İçeriği (%)
Y25	3.4 a
Y50	3.6 a
Y75	4.0 b
Y100	4.7 c
Önemlilik	*

Defne karışım peletleri içerisinde en düşük kül içeriğine Y25 karışımının sahip olduğu belirlenmiştir. Karışım içerisinde yaprak oranının artmasıyla kül içeriği artarak, en büyük değere Y100 karışımının sahip olduğu görülmüştür. Avrupa Pelet Konseyi tarafından EN 14961-2 standardına göre tanımlanan pelet kalite sınıflarındaki kül içeriği sınır değerlerine göre, ENplus-A1 ($\leq 0.7\%$), ENplus-A2 ($\leq 1.5\%$) ve EN-B ($\leq 3\%$) sınıflarına defne karışım peletlerinin uygun olmadığı belirlenmiştir. Peletlerin kül içeriği değerleri için yapılan istatistik analiz sonucunda, Y25 ve Y50 karışımlarının kül içeriği değerleri arasında fark olmadığı, ancak diğer karışımların kül içeriği değerleri arasında farklılık olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir. Aktaş (2022), tarafından yapılan çalışmada Türkiye’de üretilen odun peletlerinden seçilen örneklerin kül içeriği değerlerinden defne karışım peletlerinin kül içeriği değerlerinin daha büyük olduğu görülmüştür.

4.7. Elementel Analiz

Defne karışım peletlerin elementel analizi sonucunda belirlenen karbon (C), hidrojen (H), azot (N), kükürt (S) ve oksijen (O) içerikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Defne karışım peletlerinin elementel analiz değerleri

Karışımlar	Elementel Analiz (%)				
	C	H	N	S	O
Y25	51.9	6.0	3.9	0	34.8
Y50	49.7	6.0	3.3	0	37.4
Y75	50.5	6.3	3.7	0	35.5
Y100	52.0	6.4	3.4	0	33.5

Defne karışım peletlerin elementel içeriği değerleri incelendiğinde, hidrojen (H) ve azot (N) içeriklerinin birbirine çok yakın değerler olduğu görülmüştür. Karışımların hiçbirinde kükürt (S) içeriği saptanamamıştır. En düşük karbon (C) içeriği Y50 karışımında tespit edilirken en yüksek değer ise Y100 karışımında tespit edilmiştir. Peletlerin oksijen (O) içeriği kül içeriği ve belirlenen diğer elementlerin toplamını 100’e tamamlayan değer olarak hesaplanmıştır. Briketlerin elementel içerik değerleri ısı değerleri ve yanma sonucu oluşacak emisyonların tahmininde kullanılabilir. Biyokütle

materyallerinin elementel yapısı, C içeriği %42-71 aralığında, H içeriği %3-11 arasında, O içeriği %16-49 arasında, N içeriği %0.1-12 aralığında ve S içeriği %0,01-2,3 aralığında çeşide bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Eren ve Öztürk, 2011). Defne karışım peletlerinin elementel içeriklerinin de bu aralıklarda kaldığı görülmüştür. Sadece azot (N) içeriğinin, Avrupa Pelet Konseyi tarafından EN 14961-2 standardına göre tanımlanan pelet kalite sınıflarındaki N içeriği sınır değerlerine göre, ENplus-A1 ($\leq\%0.3$), ENplus-A2 ($\leq\%0.5$) ve EN-B ($\leq\%1$) sınıflarına defne karışım peletlerinin uygun olmadığı belirlenmiştir.

4.8. Baca Gazı Emisyonu Değerleri

Defne yaprak ve dal karışımlarından elde edilen peletler baca gazları bir pelet sobasında yakılmış ve yanma esnasında baca gazları gaz analizör cihazıyla ölçülmüştür. Ölçülen baca gazlarının emisyon değerlerinin ortalaması Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Defne karışım peletlerinin baca gazı emisyon değerleri

Karışımlar	CO (ppm)	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
Y25	712.7	152.3	159.7	2.3	6.1	14.6
Y50	930.0	140.0	147.0	9.0	4.2	16.6
Y75	1317.7	116.3	122.3	14.3	3.4	17.5
Y100	1259.3	201.3	211.3	6.3	5.3	15.4

Baca gazı emisyon ölçümleri sonucunda, CO emisyonunun en düşük olduğu değer Y25 karışımında ve en yüksek değer Y75 karışımında belirlenmiştir. Karışım içindeki yaprak oranının artması yanma sonucunda oluşan CO emisyon değerini artırdığı görülmüştür. Tüm karışımlarda NO değerlerinin NO_x değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. En düşük NO ve NO_x emisyon değerlerinin Y75 karışım peletinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun dışında Y75 karışım peletinde en yüksek SO₂ emisyonu ve en düşük CO₂ emisyonu değerleri belirlenmiştir. Ayrıca Y75 karışım peletinde ölçülen O₂ değerinin diğer karışımlardan daha yüksek çıkmasına paralel olarak diğer baca gazı emisyonlarındaki farklılıkların da yanma veriminin düşük gerçekleştiğini göstermektedir. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 50 kW veya altında nominal ısı güce sahip katı yakıtlı ortam ısıtıcılarının piyasaya arzı ve hizmete sunulması ile ilgili çevreye duyarlı tasarım

gerekliliklerini belirlemek amacıyla 26.06.2022 tarih ve 31878 sayılı Resmi Gazete’de Katı Yakıtlı Ortam Isıtıcılarının Çevreye Duyarlı Tasarım Gerekliliklerine Dair Tebliğ yayınlamıştır. Aynı zamanda bu tebliğ ilgili konuda Avrupa Birliği’nde uygulanan mevcut mevzuatlara uyum çerçevesinde hazırlanmıştır. İlgili tebliğ Ek II’de yer alan ve 01.06.2023 tarihinden itibaren uygulanacak olan 2.3.b ve 2.4.b alt başlığında belirtilen, pelet şeklindeki sıkıştırılmış odun harici katı yakıt kullanan önü kapalı katı yakıtlı ortam ısıtıcıları ile kuzinelerin %13 O₂ seviyesinde CO ve NO_x emisyonları sınır değerleri sırasıyla 1500 ve 200 mg/m³ olarak belirtilmiştir. Bu sınırlar dikkate alındığında defne karışım peletlerinin tamamının CO emisyonu bakımından tebliğe uygun bir yakıt olabileceği görülmüştür. NO_x emisyon değerleri bakımından ise Y100 karışımı haricinde diğer tüm karışım peletlerinin de ilgili tebliğe uygun bir yakıt olabileceği görülmektedir. Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (IKHKKY, 2009) Isıl gücü 15<IG≤1000 kW olan katı yakıtlı yakma tesislerinde, 5 inci maddenin (b) bendinin (2), (3) ve (4) numaralı alt bentlerinde belirtilen yakıtların kullanılması halinde bacadan atılan CO konsantrasyonları sınır değerleri incelendiğinde, defne karışım peletlerinin 150 kW ve altı ısı güce sahip yakma tesislerinde yakıt olarak kullanılabilmesi görülmüştür. Aktaş (2022), tarafından yapılan çalışmada farklı firmalar tarafından üretilen odun peletlerinin baca gazı emisyon değerleri ile kıyaslandığında defne karışım peletlerinin CO, NO_x ve SO₂ emisyon değerleri bakımından odun peleti örneklerinin çoğundan daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hatay ilinde yaygın bir üretim alanı bulunan defne yaprağı işleme tesislerinde meydana gelen defne yaprağı ve dal atıklarından biyoyakıt üretimi amacıyla farklı karışım oranlarında hazırlanan dal ve yapraklardan pelet üretilmiştir. Üretilen peletlerin yakıt özellikleri ve bazı karakteristikleri belirlenmiştir. Pelet yapılacak karışımlar yaprak oranını (%25, %50, %75, %100) ifade edecek şekilde Y25, Y50, Y75 ve Y100 şeklinde isimlendirilmiştir. Üretilen peletlerin, nem içeriği, yığın yoğunluğu, pelet uzunluk ve çap değerleri, mekanik dayanıklılık, ısı değeri, kül içeriği, elementel analiz ve baca gazı emisyon değerleri gibi özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları ve yapılan değerlendirmeler neticesinde çalışmada elde edilen sonuçlar ve bu konuda yapılacak önerileri özetleyecek olursak;

- Defne karışım peletlerinin nem içerikleri %7.38-9.14 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerim Avrupa Pelet Konseyi tarafından önerilen sınır değeri olan %10'un altında kaldığı görülmüştür. Ayrıca peletlenmemiş ham materyallerin nem içeriğinin (%10.5-12.5) peletleme için uygun değerlerde olduğu görülmüştür.
- Peletlerin yığın yoğunluklarının 517.12 - 617.79 kg/m³ değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Ham materyal yığın yoğunluğu ve pelet yığın yoğunluğu değerleri kıyaslandığında iyi bir sıkışma oranının olduğu görülmüştür. Buna karşın Avrupa Pelet Konseyinin sınır değeri olan ≥ 600 kg/m³ koşulunu sadece Y25 peleti içindeki yaprak oranının en az olması nedeniyle sağlamıştır. Diğer karışımlar bu sınır değere yakın daha düşük yığın yoğunluğuna sahip oldukları görülmüştür. Bu tür yaprak içeriği fazla olan ham karışımlardan pelet üretimi yapılırken yığın yoğunluğunu artıracak uygulamalar kullanılması gerekebilir.
- Peletlerin çap değerleri bakımından EN 14961-2 standardında belirtilen D08 sınıfında oldukları görülmüştür. Üretilen defne karışım peletlerinin uzunluk değerleri bakımından EN 14961-2 standardında belirtilen üst sınır olan 40 mm değerini aşmadığı görülmesine rağmen kendi içinde değerlendirildiğinde birbirinden çok farklılık gösteren değerler olduğu görülmüştür. Bu nedenle tekdüze uzunlukta peletler üretilmesi konusunda gerekli uygulamaların yapılması gerekebilir.

- Peletlerin mekanik dayanıklılık özelliği, taşıma, paketlenme gibi işlemler esnasında mevcut formunu koruyabileceğini yani sağlamlığın gösterene bir özelliktir. En düşük mekanik dayanıklılık (%82.2) Y100 karışında belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak karışımın tamamının yaprak olmasıdır. Üretilen defne karışım peletleri Avrupa Pelet Konseyi tarafından EN 14961-2 standardına göre tanımlanan kalite sınıflarında belirtilen mekanik dayanıklılık değerlerinin altında kalmıştır. Sadece Y25 karışımı EN-B sınıfının sınır değeri (%96.5) değerinin üstünde kalmıştır. Bu tür karışımlardan üretilen peletlerin sağlamlığını gösteren mekanik dayanıklılık özelliğini artırmak için daha yüksek basınçlarda sıkıştırma yapılması önerilmektedir.
- Peletlerin üst ısıl değerlerine göre küçükten büyüğe sıralandığında Y25, Y50, Y75 ve Y100 şeklinde olduğu görölmektedir. Bu durum karışımlarda yaprak oranının artmasının ısıl değeri artırdığını göstermektedir. Peletlerin tamamının Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen ısıl değer sınırlarının üzerinde bir ısıl değere sahip oldukları görölmüştür. Isıl değer bakımından defne karışım peletleri iyi bir yakıt özelliği göstermiştir.
- Peletlerin kül içeriği bakımından en büyük değer Y100 karışımında, en küçük değer ise Y25 karışımında belirlenmiştir. Bu durum karışımlarda yaprak oranının artışıyla kül içeriğinin arttığını göstermektedir. Pelet karışımlarının tamamının kül içeriği bakımından Avrupa Pelet Konseyi sınır değerlerinin üstünde bir değerde olduğu görölmüştür.
- Defne karışım peletlerinin elementel içeriklerinin, önceki araştırmalarda belirlenmiş olan birçok biyokütle materyallerinin elementel içerikleri değerlerinden dikkat çekici düzeyde bir farklılığı olmadığı görölmüştür. Avrupa Pelet Konseyinin sadece N ve S için verdiği sınır değerlere göre bir kıyaslama yapıldığında peletlerin N içeriğinin bu değerlerin üzerinde olduğu görölmüştür.
- Peletlerin yakılması sonucunda ölçülen baca gazı emisyon değerleri incelendiğinde, bu konudaki ilgili ulusal tebliğ ve yönetmeliklerde belirtilen CO ve NO_x emisyonlarının sınır değerlerini aşmadığı görölmüştür. Yalnızca Y100 karışımının NO_x emisyonunun çok az miktarda sınır değer üzerine çıktığı belirlenmiştir. Üretilen defne karışım peletlerinin baca gazı emisyon değerlerine

göre ısı gücü 150 kW'a kadar olan tesislerde yakıt olarak kullanılabilceği çevresel açıdan uygun olduğu görölmüştür.

Sonuç olarak defne karışım peletlerindeki çalışmada belirlenen özelliklerinde ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen sınır değerlere göre gerekli düzeltmeler yapılarak biyoyakıt olarak kullanılabilceği görölmüştür.

Benzer tarımsal ve ormancılık atıklarının pelet formunda biyoyakıt haline dönüştürölerek değerlendirilmesi, başta çevresel fayda olmak üzere ekonomik açıdan ve sosyal açıdan büyük bir fayda sağlayacaktır. Bu tür çalışmaların biyopelet yakıtı sektörüne özellikle uluslararası standartlarda üretim yapma ve markalaşma ve sonrasında ihracat konularında fayda sağlayacaktır. Ayrıca biyoyakıt sektörüne yapılacak yatırımlar ile üretilecek yerli yakıtların kullanımının artması enerji bağımsızlığı konusunda büyük katkı sağlayacaktır. Sağlayacağı bu katkılar nedeniyle, biyopelet üretimi konusunda teşviklerin geliştirilmesi, biyopelet üreticilerinin sorunlarının çözölmesi ve işini kolaylaştırıcı yasal düzenlemelerin yapılması büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M. ve Haciseferoğulları, H. 2014. Biyokütle Enerjisinde Briketleme ve Peletlemede Yeni Test Prosedürleri. **Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı**, 28-29 Mayıs, Samsun
- Aktaş, T., 2022. Determination of Quality Characteristics and Compliance with Standarts of Wood Pellet Samples Produced in Turkey, **Journal of Agricultural Machinery Science**, 8(1): 25-40.
- Alparslan, S. ve Ertekin, C., 2018. Karanfil bitkisi biyokütle artıklarının peletlenmesinde parça boyutunun etkisi. **Tarım Makinaları Bilimi Dergisi**, 14(1): 7-13.
- Anonim 2022. Atlas Pelet. <http://atlaspelet.com/peletmakinesi/atlas-pelet-pellet-makinalari-2.html> Erişim Tarihi: 16 Haziran 2022.
- Aragón-Garita, S., Moya, R., Bond, B., Valaert, J., and Tomazello Filho, M., 2016. Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica. **Biomass and Bioenergy**, 87, 84-95.
- Baz, Y.Ö. 2019. Fındık zuru için peletleme parametrelerinin belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- Bilgin, S., Koçer, A., Yılmaz, H., Acar, M. ve Dok, M. 2016. Çay Fabrikası Atıklarının Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. **Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)**, 2016-Ek Sayı, 70-80.
- Çelik B., 2011. Pelet Üretim Tesisinin Fizibilitesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Dok, M., Acar, M., Atagün, G., ve Akbaş, U., 2018. Şeftali Budama Artıklarından Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Yararlanma İmkânlarının Araştırılması. **Tarım Makinaları Bilimi Dergisi**, 14 (3): 193-198.
- Eren, Ö ve Öztürk, H.H., 2011. Biyokütle Enerjisi, **Doğa Yayıncılık**, İstanbul. ISBN:978-975-6263-19-8.
- European Pellet Council (EPC). 2013. **Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes**, Version 2.0, Brussels, Belgium.
- IKHKKY, 2009., Isınmadan Kaynaklanan Hava kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. <http://www.worldbioenergy.org/uploads/factsheet%20-%20pellets.pdf>. Erişim Tarihi: 08.09.2022
- Jackson, J., Turner, A., Mark, T., and Montross, M., 2016. Densification of biomass using a pilot scale flat ring roller pellet mill. **Fuel Processing Technology**, 148, 43-49.
- Junginger M. et al., 2008. Developments in international bioenergy trade. **Biomass and Bioenergy**, 32(8):717-729.
- Karaca, C. ve Başçetinçelik, A., 2014. Defne Yapracağının Briketleme ve Yanma Özellikleri. **Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı Bildiriler Kitabı**: 131-138. 28-29 Mayıs 2014, Samsun

- Karaca, C., 2021. Tarımsal Biyokütleden Biyoyakıt Üretimi. **Uluslararası Yenilenebilir Enerji Çalıştayı, 1-3 Mart 2021**, Mardin Artuklu Üniversitesi. pp. 197-208.
- Karayılmazlar S., Saraçoğlu N., Çabuk Y., ve Kurt R., 2011. Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, 13(19): 63-75.
- Küsek, G., Güngör, C., Öztürk, H.H. ve Akdemir, Ş. 2015. Tarımsal Artıklardan Biyopelet Üretimi. **Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 29(2): 137-145
- Leblebicioğlu, E. 2020. Biyokütle Enerjisi Nedir? Nasıl Elde Edilir? Mühendistan Mühendisliğin Sanal Dünyası, <https://muhendistan.com/biyokutle-enerjisi-nedir-nasil-elde-edilir/>. Erişim: Ağustos 2022.
- Mani, S., Tabil, L. G., and Sokhansanj, S., 2006. Effects of compressive force, particlesize and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. **Biomass and Bioenergy**, 30 (7):648-654.
- OGM. 2022. **Defne Eylem Planı (2022-2026)**. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Relova, I., Vignote, S., León, M. A., and Ambrosio, Y., 2009. Optimisation of the manufacturing variables of sawdust pellets from the bark of *Pinus caribaea* Morelet: Particle size, moisture and pressure. **Biomass and Bioenergy**, 33(10): 1351-1357.
- Santamarta, L., Chaney, K., Godwin, R. J., White, D. R., and Humphries, A. C., 2012. Physical quality changes during the storage of canola (*Brassica napus* L.) straw pellets. **Applied Energy**, 95, 220-226.
- Semerci A. ve Çelik A.D. 2017. Defne Bitkisinin Hatay İli Ekonomisindeki Yeri ve Önemi. **Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 12 (2):125-134.
- Sezek M., 2018. Endüstri Bitkileri ve Bitki Artıklarının Biyoyakıt Olarak Kullanımı. **Journal of Agriculture Sciences**, 2018, 33(1): 105-111.
- Tüplek, A. 2011. Odun Talaşı ve Tozundan Pelet Biyoyakıt Üretimi ve Yanma Analizi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Üstün, G.E. ve Genç, B., 2015. Dünya’da ve Türkiye’de Biyoyakıtların Durumu. **Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 29(2): 157-164.
- Yılmaz, A. ve Çiftçi, V., 2021. Türkiye’de Defne (*Laurus nobilis* L.) Bitkisinin Durumu. **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı**, 22, 325-330.
- Yılmaz, A. 2014. Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği A.B.D. Yüksek Lisans Tezi.
- Zengin Y., Çelik, A.E., Dok, M. ve Çolak, S. 2020. Kavak odun atıklarından elde edilen peletlerin bazı yakıt özelliklerinin belirlenmesi. **Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, 21(1): 29-36.